

# 天气预报中不确定性问题的调查分析

杜钧<sup>1</sup> 康志明<sup>2</sup>

(1 美国国家海洋大气局国家环境预报中心, 华盛顿, 美国; 2 中国气象局国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 围绕天气预报中的不确定性问题, 对中国18个省(市、区)229名代表了国家、省和地市三级以及不同岗龄的预报员进行了问卷调查。具体调查内容包括了以下3个方面: (1) 应用数值预报的情况; (2) 对天气预报准确率的想法; (3) 对天气预报(数值预报)中不确定性、集合预报产品以及预报发布形式等问题的看法。结果表明, 数值预报产品目前已经成为预报员们制作日常天气预报的主要工具。因此, 数值预报所固有的可预报性(不确定性)问题已是预报员不得不面对的一个科学问题。最后, 介绍了一项新近关于美国预报员在日常天气预报中应用集合预报信息所遇到的一些挑战, 这包括“资料不全面、分析工具不足、培训教育不够、缺乏检验、工作负荷重、模式分辨率低以及预报规范格式的限制”7方面。这些可供气象学科带头人和业务管理决策者思考和计划。

**关键词:** 集合数值预报和产品, 天气预报准确率和不确定性, 完全预报和不完全预报, 预报员和问卷调查

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.01.008

## A Survey on Forecasters' View about Uncertainty in Weather Forecasts

Du Jun<sup>1</sup>, Kang Zhiming<sup>2</sup>

(1 National Centers for Environmental Prediction/NOAA, Washington, D.C., USA 2 National Meteorological Centre/CMA, Beijing 100081)

**Abstract:** A nation-wide survey was conducted to 229 forecasters who came from 18 provinces representing both senior and junior forecasters at all three levels (national, provincial and regional) in China. Three issues are surveyed: (1) usage of numerical weather prediction (NWP) in daily operational weather forecasting; (2) opinion about weather forecast accuracy; and (3) view about uncertainty in forecasts including ensemble products and methods to convey forecast confidence. The result shows that NWP has been applied by all forecasters to their daily preparations of weather forecasting. Therefore, forecast uncertainty or predictability issue associated with highly nonlinear NWP models is a reality which forecasters have to face day by day. Long-term education is needed to train forecasters in effectively using and correctly interpreting forecast uncertainty information. Regarding weather forecast accuracy, all forecasters admit that any forecast has errors and believe that it will never be perfect no matter how advanced meteorological sciences are, given chaotic nature of the atmospheric system. With imperfect forecasts, most forecasters believe that specialized forecast products particularly tailored to a certain type of customer as well as frequent updates of forecast information are important to maximize the economical and societal values of weather forecasts. In spite of the variation in forecast accuracy, most forecasters have, however, an idea about their confidence or difficulty level of a forecast he or she is issuing beforehand. Being asked if such forecast confidence information should be released to the public and users, most forecasters responded with a positive “yes” answer although a few of them worried that the public and users might be confused and do not know how to use these information correctly. To fully accomplish this, forecasters acknowledge that forecast-issuing format/context must also need to be reformed accordingly. Furthermore, the majority of forecasters welcome the National NWP Center to provide ensemble-based quantitative forecast uncertainty products for them to use although the “single-solution” type of ensemble products is currently more preferred to “multi-solution” type. Therefore, the “complete forecast” concept of including quantitative uncertainty information as part of a forecast instead of the current single-valued deterministic “incomplete forecast” is generally an acceptable one to forecasters. Various formats are also voted to better convey forecast uncertainty information to the public. To let the public and users be aware of the fact that a forecast always has a certain degree of uncertainty and it is necessary and valuable to take such uncertainty into account in their decision-making process, forecasters agreed that a combination of

popular scientific education, training and collaboration is a way forward to achieve the goal.

Finally, a survey recently done by Stony Brook University about the challenges faced by U.S. forecasters in utilizing ensemble information in their daily forecasting activity is introduced. The seven main obstacles identified by the survey

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2014年1月10日

第一作者: 杜钧(1962—), Email: Jun.Du@noaa.gov

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006018);  
中国气象局气象关键技术集成与应用项目  
(CMAGJ2013Z05)

are summarized, which could be a useful reference for Chinese forecasters, scientists and managers in making their long-term plans. The seven challenges are “unavailability of full ensemble data, lack of ensemble data mining/interpretation/display tool, lack of relevant training and education, lack of ensemble product verification, forecasters’ overload of their daily routine work, coarse spatial resolution of ensemble model, and limitation/restriction of forecast-issuing format/context”.

**Keywords:** ensemble numerical weather prediction and product, weather forecast accuracy and uncertainty, complete and incomplete forecasts, forecaster and questionnaire

## 1 引言

正确地处理预报中的不确定性, 对于更大地实现天气、气候预报的应用价值具有实际意义<sup>[1]</sup>。作者认为要真正地让这一理念成为现实, 必须要经过以下3大步。第一步, 是科学上的认可。自从Lorenz发现大气运动的混沌性<sup>[2]</sup>以及Epstein提出动力随机预报<sup>[3]</sup>、Leith提出集合预报<sup>[4]</sup>以来, 大气可预报性问题的存在和重要性已被逐渐认可。虽然集合预报系统目前还处于发展阶段、结果也不完全理想, 但目前它们已在世界上的主要数值预报中心成为日常业务系统的一部分<sup>[5]</sup>。所以, 第一步目前已经基本成熟。第二步, 是让预报员认可并成为日常预报中不可或缺的一部分。这一步在美国和欧洲正在逐步实现的过程中, 特别是预报员的认可在那里已不再是问题。在中国, 这一步可能才开始不久。譬如, 2008年奥运会期间曾有中尺度集合预报产品的尝试<sup>[6-7]</sup>。本文进行的调查研究正是为了加速这第二步的实现。这一方面需要预报员通过实践和时间来逐步体验预报不确定性信息的价值, 以致使其成为制作预报过程中必不可少的一部分(这需要时间); 另一方面需要气象业务管理者根据实际情况来修改预报规范和改变预报的发布形式, 来适应新科技的进步和用户的需要(这需要远见和胆识)。当然, 针对不同的用户, 预报发布的形式可能也不一样。第三步, 是让公众和社会接受并应用到具体的决策过程中。有些需要风险估计的用户, 如保险公司, 正开始应用气象预报的不确定性信息。但对于大多数用户和公众而言, 他们可能还不理解、不能接受或不会应用这种常常包含有几种可能性的带有不确定性的定量预报。所以, 要实现这第三步显然是任重而道远。

2011年5—6月, 我们通过电子邮件的方式对中国18个省市的省气象台和地市气象台以及中央气象台部分预报员进行了关于对天气预报中预报不确定性问题看法的调查(问卷及统计数字见附录)。调查内容包括对数值预报的应用情况、天气预报准确率、数值预报的不确定性、集合预报产品以及预报发布形式等问题的看法。希望调查结果能帮助科研人员和业务管理者了解业务预报员们对这一预报不确定性问题的基本

看法, 以便在今后行动中能有放矢。具体来说, 希望对如下3方面有所帮助: (1) 如何更好地提高和改进现有天气预报信息发布和服务, 这包括预报规范和发布形式的改革; (2) 如何更有针对性地设计集合预报产品, 使它们既能合理表达预报的可信度又能使预报员喜爱并易用; (3) 如何让公众和用户更全面地理解和吸取天气预报的有用信息并按自身的特点有选择地来应用预报信息, 更好地为经济和社会活动服务。

## 2 基本情况

### 2.1 样本

229位业务预报员参加了调查(回答了问卷), 他(她)们来自18个省(市、区)(上海、天津、重庆、江西、江苏、浙江、山东、安徽、湖北、湖南、四川、河北、广西、吉林、黑龙江、甘肃、青海和新疆)和中央台。代表了3级气象业务部门(图1a: 国家(9.6%), 省(46.3%), 地市(44.1%))以及不同岗龄(即从事预报工作的年数)的预报员(图1b: 1~3年(23.1%), 4~6年(21.8%), 7~10年(17.5%), 10年以上(37.6%))。所以, 样本应该具有代表性, 因为它包括了各级和不同资历业务预报员的群体。

### 2.2 使用数值预报产品的情况

图2a是预报员在他们日常制作天气预报过程中应用数值预报产品的情况。可以看出, 数值预报产品已经成为日常预报的主要工具: 有88.8%的人既在形势预报上也在要素预报上应用数值预报产品, 另有9.9%的人只在形势预报上参考数值预报, 1.3%的人只在要素预报上参考数值预报, 而已经没有人不在日常预报中运用数值预报。所以, 数值预报产品中所固有的可预报性(不确定性)问题<sup>[8-9]</sup>已是当前预报员不得不面对的一个科学问题。关于这些预报不确定性问题, 杜钧等<sup>[10-13]</sup>已作过一系列详细而通俗的介绍。

### 2.3 对预报不确定性问题的了解

问卷对预报员是否了解预报不确定性问题进行了调查(图2b)。大部分(66.9%)接受调查的预报员对此问题或多或少有一些了解: 47.2%的预报

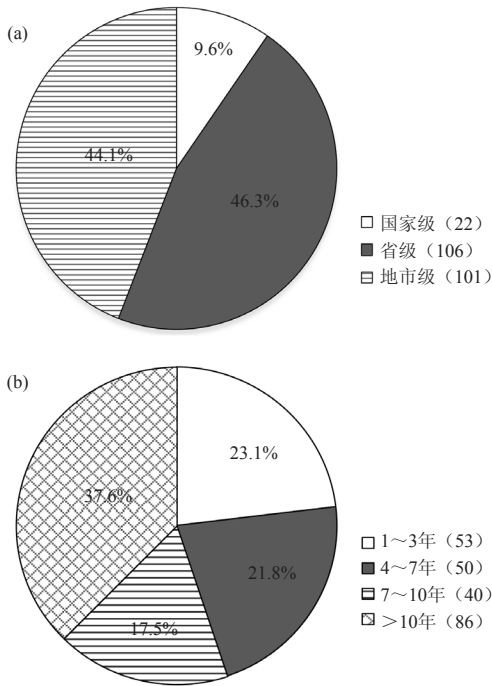


图1 调查样本分布  
(a) 工作单位; (b) 岗龄 (预报服务年限)

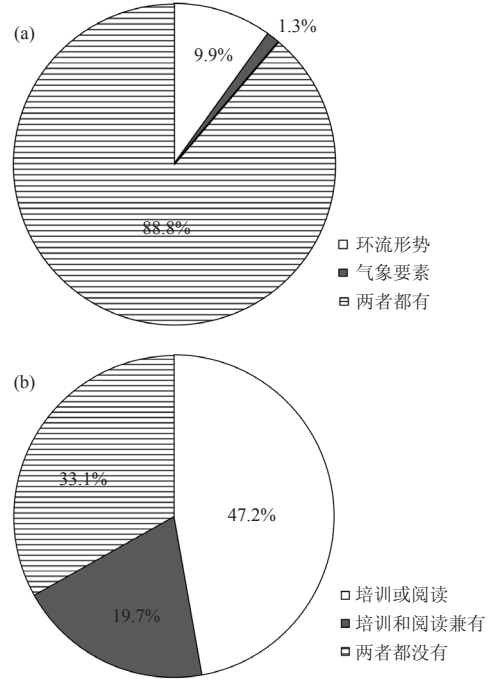


图2 数值预报产品使用情况 (a) 和对“预报不确定性问题”的接触 (b)

员或者参加过集合预报的培训或者阅读过集合预报和预报不确定性的文章, 有19.7%的预报员两者都有。当然, 也有相当数量的预报员 (33.1%) 对此问题了解不多, 既没有参加过任何培训也没有读过有关文章。如果, 再按“岗龄”和“工作单位”两组来统计, 可以发现资历深的预报员 ( $\geq 7$ 年) 比资历浅的预报员 ( $< 7$ 年), 对此问题了解的比例要高 (~76%比~57%), 中央气象台的预报员比地市级气象台的预报员的比例要高 (96.4%比55.4%), 而省台预报员介于二者之间 (73.6%)。原因是资历深的预报员 (尤其是7~10年的业务骨干) 比资历浅的预报员参加培训机会多 (~32%比~16%, 图3a) 和阅读多 (~71%比~54%, 图3a); 中央台的预报员比地市台的预报员参加培训机会多 (50%比9.9%, 图3b) 和阅读多 (86.4%比54.5%, 图3b)。从了解这一问题的来源来说, 大多数人员是通过阅读文章 (63.3%), 而只有

少部分人是参加了集合预报等培训 (23.1%)。

### 3 调查结果

在下面的分析中, 除了总体样本的统计外, 还按照“工作单位” (图1a)、“岗龄” (图1b) 以及“对预报不确定性问题的了解程度” (图2b) 3个子样本集进行了统计。如果子样本集的结果没有明显不同于总体样本的结果, 我们仅给了总体的结果; 否则, 我们会指出子样本集的差异。为了更好地理解调查结果, 建议读者在阅读本节前先阅读附在文后的问卷和总体统计数字而先有个大致的了解。

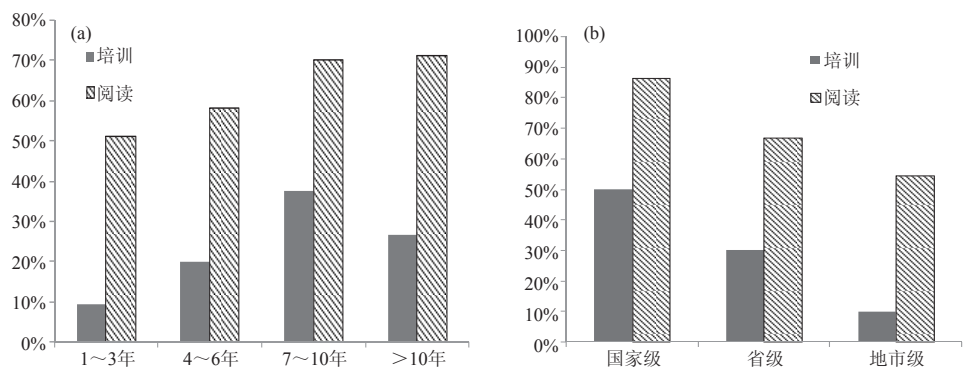


图3 了解“预报不确定性问题”的来源 (斜线柱代表“阅读”、实黑柱代表“培训”) (a) 按岗龄; (b) 按工作单位

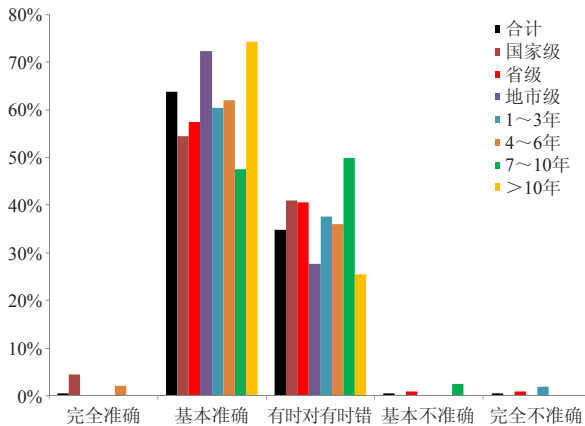


图4 预报员对当前天气预报准确性的看法

### 3.1 对天气预报水平和服务的看法

图4是预报员对现有天气预报准确性的看法。63.8%的人认为“基本准确”，34.9%的人认为“有时对有时错”，只有极个别的人认为“完全准确”（0.4%）或“完全不准确”（0.4%）。这说明了在承认预报不完全准确的前提下，大部分预报员对现有天气预报水平有一个比较正面和客观的看法。当然，这应当归功于目前的气象科技已经有了相当的水平 and 实用价值。值得注意的是，地市台的预报员对预报准确率比较乐观（72.3%认为“基本准确”，只有27.7%认为“有时对，有时错”），而中央台和省市台的预报员则比较不乐观（约55%认为“基本准确”，而认为“有时对，有时错”的比例增加到41%）。这原因可能是国家和省台负责的地域较大，情况较全面也比较复杂。另外，从岗龄来看，发现骨干预报员（7~10年）对此有更负面的看法（47.5%认为基本准确，50%认为“有时对，有时错”，甚至有2.5%的人认为“基本不准确”）。可能原因有：一是骨干预报员遇

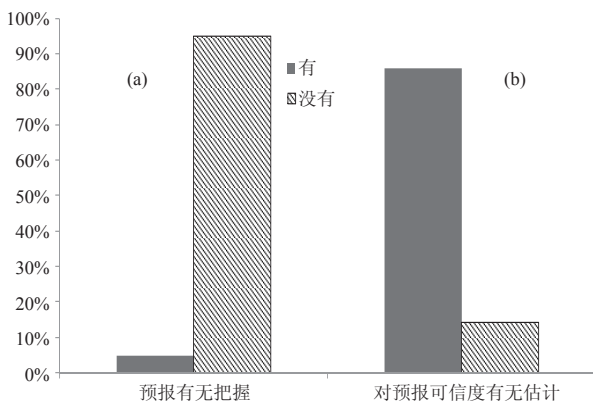


图5 预报员对自己制作发布的单值确定预报的评价 (a) 准确性的把握；(b) 可信度的估计

到的疑难过程多，报错的经历也多，而对错误的印象要更深刻；二是骨干预报员对报对报错会有更全面的认识，新预报员则仅考虑结果，对其中的技巧和内涵则认识不足；三是近年来数值预报的水平在提高，且雷达、卫星、自动站等技术手段也在提升，新预报员对数值预报和新技术的依赖性更大一些，骨干预报员则还需要有转变过程。但不解的是老预报员（>10年）则很乐观（74.4%认为“基本准确”，25.6%认为“有时对，有时错”），不知这是否是因样本局限而出现的偶然结果，还是有什么特殊的相关因素（如水平较高和比较自信）而造成的，笔者不知如何解释。

当被问及是否对自己所发布的预报有十足的把握时，绝大多数（95.2%）都承认“没有”（图5a）。虽然如此，但他们中的大部分人（86%）在心中却对所发布的预报的可信度如何有一个估计（图5b）。这一结果其实正好反映了气象预报混沌性的实质——预报存在不确定性，但并不是随机的。至于天气为何不能被完全报准（图6），绝大部分人（93.2%）认为这是由于大气运动的复杂性和混沌性，并且认为天气是永远不可能被100%报准的。只有极少数的人（7%）认为这是因为目前的气象科技还不够发达，但随着科学的进步，总有一天天气是可以被完全报准的。中央台预报员没有人持这种“总有一天会完全准确”的观点，而省台的比较多（12.3%），地市台的也有一些（3%）。预报骨干（7~10年）有很多人（15%）也持这种观点。不解的是“对预报不确定性”有些了解的人群持这种观点的比例反而偏高（15.6%），这似乎刚好同培训和教育的目的背道而驰。虽然，培训等对于预报员接受新的技术是一种很重要的途径<sup>[14]</sup>，但似乎仅仅靠这种一两次短暂的培训和教育是远远不够的。要使人们能接受一种同传统的做法完全不同的新

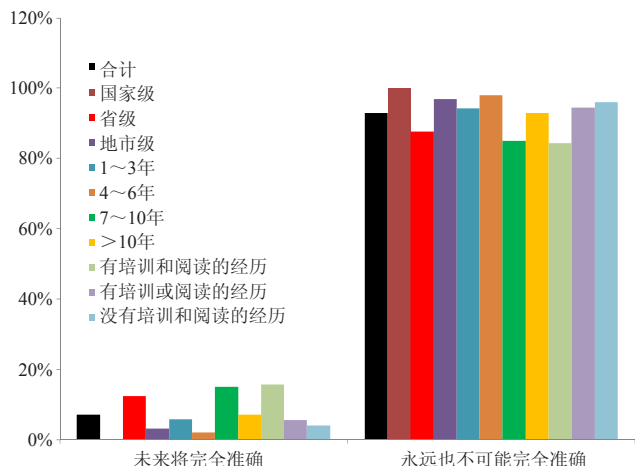


图6 预报员对将来终极天气预报准确性的看法

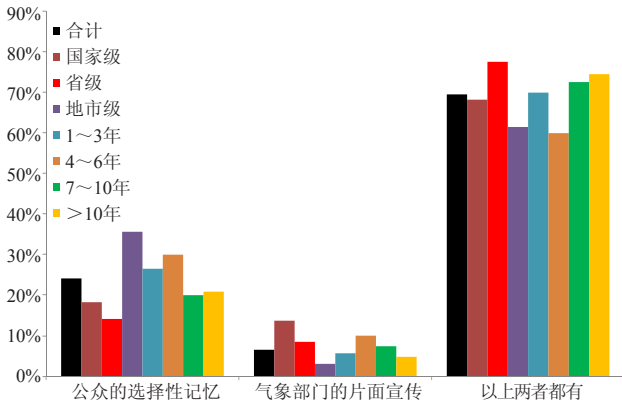


图7 预报员关于“公众对天气预报准确性有负面看法”这一现象的认识

观点和新思想，如集合预报<sup>[11]</sup>，培训和教育是一项长期而经常性的任务。这一结果同北京奥运会的中尺度集合预报研究示范项目报告中的结论是一致的<sup>[6]</sup>。

当被问及为何公众觉得气象部门的天气预报不太准确（如文献[10]）的原因时（图7），大多数预报员（69.4%）认为一部分原因在公众身上——即只记得少数报得不好的（但往往是影响大的复杂的天气）而忘了多数报得好的（往往是影响小的简单的晴好天气）；而另一部分原因在气象部门自身的片面宣传上（给人印象是天气是可以被精确地预报出来的）。但也有相当比例的预报员（24%）只怪公众，而仅仅只有6.6%的人只怪气象部门自己。在地市台中这一点特别明显，怪公众的有35.6%，怪自己的仅有3%。而在国家和省一级的预报员中，怪自己的明显增加（8.5%~13.6%），而怪公众的明显减少（14.2%~18.2%）。

在预报不完全准确，“有时对，有时错”的情况下，如何提高气象服务的质量呢？超过半数以上的预报员（56.3%）认为“要加强专业预报”和“增加预报发布频次”双管齐下。也有相当多的预报员（36.7%）认为只要加强专业预报就可以提高服务质量；而仅有7%的人认为只要增加预报发布频次、不断更新预报信息就可以提高服务质量。注意，这里所说的专业预报并不是泛指一般的有偿专业服务，而是指对特定行业和特别活动的特殊需求“量身定制”的专门化预报。关于针对不同用户的不同需要，应该用不同预报信息来决策以最大程度来实现预报的经济价值，这在文献<sup>[12]</sup>中有过专门的讨论。

### 3.2 对预报不确定性产品的看法

首先，广大预报员（93.9%）对于国家气象中心能提供数值预报产品的可信度信息<sup>[15-17]</sup>表示欢迎，只

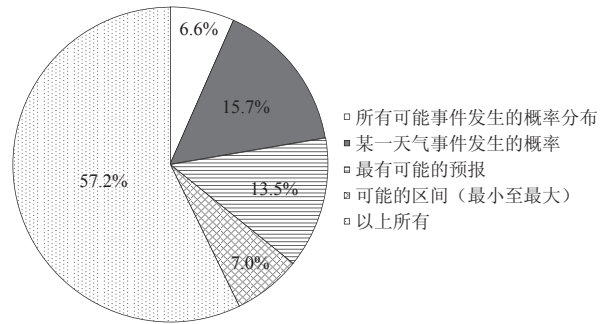


图8 预报员对集合预报产品的选择

有6.1%的预报员表示不需要。但中央台的预报员有9.1%表示不要气象中心提供的预报可信度产品，这一比例要高于省台和地市台的预报员。这可能同中央台能接触到更多的其他模式预报资讯以及目前的集合预报产品质量还不够满意有关。至于具体要什么样的预报可信度产品（图8），超过半数以上的预报员（57.2%）想要得到全面的预报不确定性信息，这包括“所有可能事件发生的概率分布”、“某一特定事件发生的概率大小”、“最有可能出现的预报”，以及“预报的可能性区间（从最小值到最大值）”。值得注意的是，在剩下的42.8%的预报员中，“某一特定事件发生的概率大小”和“最有可能出现的预报”是两类很受欢迎的产品，分别为15.7%和13.5%。而全面反映预报不确定的“分布”式产品，即“所有可能事件发生的概率分布”和“预报的可能性区间（从最大值到最小值）”，其受欢迎程度明显偏低（分别为6.6%和7.0%），这可能同预报信息是否好用、怎样用，以及是否有足够时间消化等有关，当然也有一些

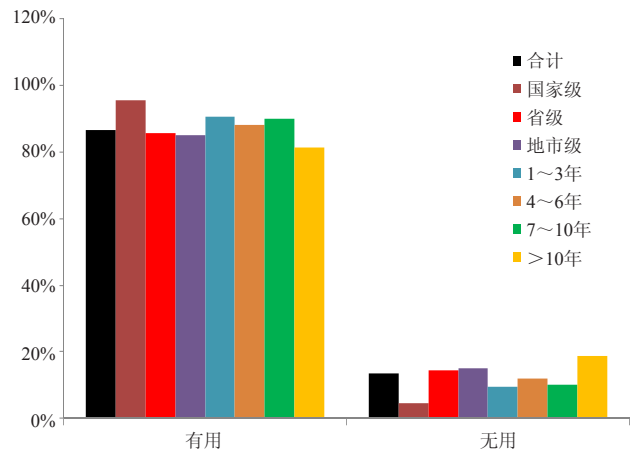


图9 预报员对国家气象中心向他们提供“预报不确定性”信息和产品的意见

人可能是受习惯性的确定论思维的影响。

对于预报员自己来说（图9），有了预报可信度信息以后，大部分预报员（86.4%）认为他们会用来调整和修改其所做的预报，但同时也认识到在目前所要求的“单一值确定论”形式的预报实践中，并不能充分利用不确定性信息的所有价值，所以认为现行预报规范需要进行合理科学的修改，以包括不确定性信息作为预报的一部分，即所谓的“完全预报”<sup>[1,13]</sup>。当然也有相当一部分预报员（13.6%）认为预报不确定性信息没有用处，反而造成混乱。持这一反对观点的在老预报员（>10年）和地市、省级预报员中的比例要高一些（分别为18.6%和14.5%），而中央台较低（4.5%）。

从前述中，我们已经看到预报员们虽然对自己所做的预报没有十足的把握，但对于预报的可信度如何却有一个估计。所以，对于气象用户来说，当问到是否应该把这可信度或预报不确定度作为预报内容的一部分（即“完全预报”），并如实地告诉公众和用户时（图10），绝大多数预报员（74.7%）认为“应该”。认为“应该”的比例在国家级预报员中比省、地市级的预报员中要高（86.4%比73%），资深预报员（≥7年）比新预报员（<7年）要高（80%比70%）。比较上面的结果，这里可以隐约地体会到老预报员（>10年）对于预报不确定性产品有一种微妙的矛盾心态：对于用户，他们持比较开放的心态（倾向把预报可信度信息告诉用户），而对于自己，他们有不少人持比较保守的态度（认为不确定性信息没有用处，反而造成混乱）。当然，绝大多数资深预报员不管对于用户（80%）还是对于自己（86%）都持开放的态度。另外，对于“预报不确定性”有些了解的预报员认为“应该”的比例明显地高于对此问题不了解的预报员群体（84.4%比69.7%）。在这一点上，

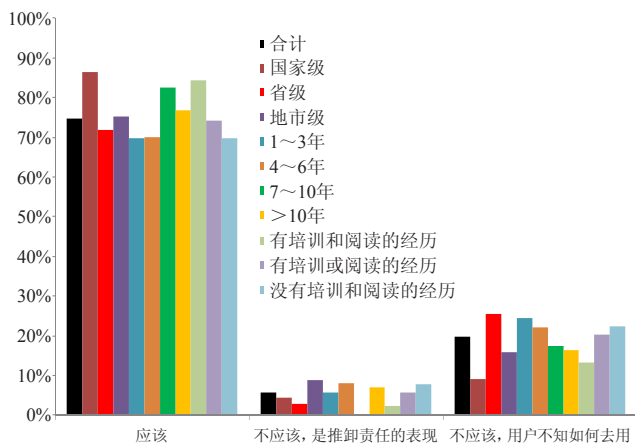


图10 预报员关于“是否应该把预报可信度信息告知公众和用户”这一问题的看法

培训与教育似乎起到了一定的作用。值得注意的是，持反对意见的预报员其主要理由（19.7%）是担心用户不会应用预报不确定性信息因而造成混乱，而只有5.7%的人是因为“面子”问题（“报不准却把责任推给用户”）。所以那些预报员的动机是为用户着想。这与前面看到的预报员强调“加强专业预报”来提高气象服务水平的看法是一致的。这充分说明了气象界同用户之间建立关系的重要性，并且这一点已经得到了广大预报员的认可。关于用户如何应用预报不确定性的信息，以提高预报的经济价值和加强科学的决策，杜钧等<sup>[12]</sup>对此进行了专门讨论。上面两项的调查结果，表明绝大多数预报员都表示愿意应用预报不确定性的产品（~86%），并且认为应该把预报可信度告诉用户（~75%）。这说明，用“包含了不确定性”的“完全预报”来取代现行“确定性单一值”的“不完全预报”是一个已被广大预报员接受的概念，它在目前预报员中已有相当的思想基础。尤其是，他们对自己较对用户更加开放（~86%比~75%）。当然，针对不同的用户（如一般公众和专业用户），预报发布的形式也可有所不同，这需要进一步的探讨。其实，在下面的调查结果中也有一定反映。

那么如何向大众来表达预报中的不确定性呢（图11a）？结果发现，概率是很多预报员所推崇的

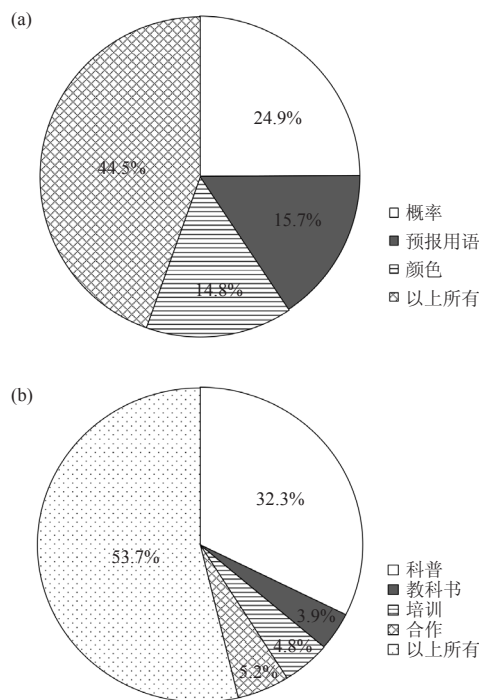


图11 预报员关于“不确定性产品的表达形式” (a) 和“如何让公众和用户了解预报的不确定性” (b) 问题的看法

(24.9%)，用不同的语言和颜色也受到一定程度的欢迎（分别为15.7%和14.8%）。可喜的是有约一半的预报员（44.5%）较开放，愿意接受以上各种方式，认为在不同的场合应用不同的方式来表达。这种开放态度在中央台预报员中尤其普遍（达72.7%）。为了更好地做好气象服务，如何让广大公众和用户了解气象预报有不可避免的不确定性本质以避免他们有不切实际的期望呢（图11b）？有相当数量的预报员（32.3%）认为科普是一种首选的工具。其次依次是同用户合作（5.2%），培训（4.8%）和学校科学常识类教科书（3.9%）。而超过半数的预报员（53.7%）认为以上这些都很重要，应该多管齐下。

### 3.3 推广应用集合预报所遇到的一些障碍

在美国，由于集合预报开展得比较早（1992年，全球中期集合预报系统上业务<sup>[18]</sup>；2001年，区域短期集合预报系统上业务<sup>[19]</sup>），预报员已经很习惯于应用集合预报资料，集合预报已经成为他们日常制作预报不可或缺的一部分。在这种情况下，美国预报员关于推广应用集合预报和预报不确定信息所面临的一些问题也许会对中国预报员（还处于熟悉集合预报的开始探索阶段）有一些借鉴作用。关于这个问题，美国纽约州立大学石溪分校不久前进行了一项调查（<http://dentrite.somas.stonybrook.edu/CSTAR/Sureys.html>）。该调查发现预报员还不能完全把预报不确定性信息应用在日常的天气预报实践中的主要原因有以下这一些（按得分从高到低排列）：

（1）资料。由于数据传输能力的限制，许多原始集合预报资料，如所有集合成员的预报，还不能及时传给基层气象台站，所以预报员无法得到完整的信息或根据需要自行加工成特殊的产品。

（2）工具。缺少灵活、方便、功能齐全的资料处理和显示软件。所以，预报员无法方便快速地处理（计算）和显示集合预报资料以提取有效的预报不确定性信息。

（3）培训。预报员在如何应用集合预报、正确解释集合产品等方面的知识还需要进一步培训。

（4）检验。对集合预报特别是其不确定性的度量等缺乏系统性的检验。所以，预报员们对集合预报的“好”与“坏”心中无数而缺乏信心，影响他们的有效使用。

（5）工作负荷。对现有的常规预报资料的处理与分析已使预报员们的日常工作忙于应付，因此没有时间再去消化新增加的集合预报资料。

（6）模式分辨率。由于集合预报要计算许多模式成员，受计算机资源的限制，集合预报模式的空间分辨率一般总是要比高精度的单一预报模式的空间分辨率低很多。所以，许多预报员更愿意去参考高分辨率的模式结果，而忽视低分辨率的集合预报结果。

（7）预报发布规范。因为现有的预报发布规范和内容格式仍是确定论式的（如全美数码化预报数据库，NDFD），没有给预报不确定性信息留有位置。所以，预报员虽有定量地预报不确定度或预报可信度信息但却无法表达，因为最后还是要填一个确定的预报值。这一问题在本调查结果中也有同样的反映。所以，修改预报发布规范和格式势在必行。关于这一点，美国目前正在改革中，如在预报数据库中增加预报不确定性的内容和在下一代航空预报系统中增加一维“预报不确定性”。

以上这7方面的问题，作者认为中国的预报员在这预报形式转型的过程中或早或迟都会面临。所以在这写出来供学科带头人和业务管理决策者参考应是有价值的。

## 4 结论与讨论

为了了解目前预报员对天气预报中不确定性的看法，我们对中国18个省（市、区）的代表国家、省和地市3级的229位业务预报员就有关问题进行了调查。具体调查内容包括对数值预报的应用情况、天气预报准确率、数值预报的不确定性、集合预报产品以及预报发布形式等问题的看法。调查结果分类总结讨论如下。

### 4.1 数值预报及其可预报性

首先，调查表明目前数值预报产品已经成为预报员们在制作天气预报中不可缺少的重要工具。因此，数值预报中所固有的可预报性本质是预报员们必须认真面对的一个实际问题。超过半数以上的预报员对预报不确定性问题有一些了解。了解的途径主要是通过阅读文章和培训，其中阅读文章要比培训更普遍。这说明通过写文章来传播新的思想比培训可以达到更多的人。所以，在此建议前沿的科学家们应该多写一些通俗的文章来传播新的科学思想以促进新科技尽早实现其应用价值。然而，也有相当大比例（三分之一）的预报员对此问题并没有接触过，特别是地市级的和新的预报员更是如此。因此，关于数值预报中的不确定性或可预报性问题，教育（如写文章）和培训在目前还是一个急需加强的任务，并且还是一种长期的任务，这样才能真正达到预期的效果。特别要指出的

是，培训的对象不要忽略了如调查所显现的地市台和新的预报员们。

#### 4.2 预报准确率和气象服务

对于现有天气预报的水平，几乎所有预报员都承认它是不完全准确的。并且大部分人也认为即使在将来气象科学不断地完善，天气预报也是不可能完全准确的，因为这是由大气运动的复杂性和混沌性所决定的。可见预报员们在他们的头脑里对天气预报科学的概貌还是有一个很客观清醒的认识。在关于为何公众总是责怪气象部门预报不准确的问题时，大部分预报员认为原因有二：一部分在公众身上，公众往往记住少数报得不好的（但也往往是影响大的复杂天气），而忘了大多数预报得好的（往往是那些影响小的单一的晴好天气）；另一部分在气象部门自己身上，气象部门往往片面地宣传和过度强调成功积极的一面，而忽略了失败的报道和分析，以致于留给公众“天气是应该可以被准确地预报出来”的错误印象，在不知不觉中提高了公众对天气预报准确率的期望值。以上两点很值得我们气象工作者认真思考。一方面，虽然总体来说，天气预报已有一定的准确率，但在复杂的重大天气事件中它往往有很大的不确定性。那么我们如何以科学的态度来正确地面对这一不确定性（在这里也许“少数”比“多数”更重要）？另一方面是我们应该如何报道宣传天气事件？笔者认为对预报事件的报道要全面客观反映真实的预报水平，而要多利用报错的重大天气事件向公众解释气象预报的难处和不确定性等。这样，长期下来也许会使公众理解气象预报的不准确性源自何处，从而降低人们对天气预报的期望值。在目前预报不太准确的情况下，大部分预报员认为通过针对性的专业预报和增加预报发布频次是提高气象服务的途径（特别是前者）。这里可以间接地看到，气象部门走出去同气象用户建立关系是更大地发挥天气预报作用很关键的一步。

#### 4.3 预报可信度信息的处理和集合预报产品

调查发现，虽然几乎没有人对自己所做的预报有十分的把握，但大部分人对自己所发布的预报的可信度如何，却有一个大致的估计，即有些预报把握比较大，而有些没什么把握。并且大部分预报员同意我们应该把这个可信度作为预报的一部分，实事求是地告诉公众和用户。他们也欢迎国家气象中心(数值预报中心)能向他们提供各种预报不确定性的产品。其中，“单一解”类的集合预报产品似乎比“多解”类

的集合预报产品至少在现阶段更受预报员们的欢迎。所有这些产品都能在一定程度上帮助预报员们来修正预报结果，但是他们也认识到在不改变现行“确定论形式”的预报规范的情况下，这些预报不确定性信息的用处受到很大的限制。当然，也有一些人因为担心用户不会应用预报不确定性信息，所以觉得不应该把预报中的不确定性信息告诉用户。可见让用户熟悉和应用预报不确定性信息的专业“气象行业服务模式”是多么的重要。总的说来，用“包含了不确定性”的“完全预报”来取代现行“确定性单一值”的“不完全预报”是一个已经能被大多数预报员接受的概念，它在目前的预报员中已有相当的思想基础。当然，从思想到行动，它还有很长的路要走。

#### 4.4 向公众、用户表达和宣传预报的不确定性

在如何向公众和用户表达预报中的不确定性方面，概率是很多预报员所推崇的，用不同的语言和不同的颜色也受到一定程度的欢迎，更多的人认为要在不同的场合应用不同的方式来表达（这一点可作进一步的探讨）。在如何让公众和用户了解气象预报存在不确定性的科学事实方面，有相当数量的预报员认为科普是一种首选的工具，其次依次是同用户合作、培训和各类学校的教科书。超半数以上预报员认为以上这些都很重要，要多管齐下。笔者认为，目前预报员们对于大众教科书的教育重要性认识可能还不足。其实，从长远来看，在科学常识类教科书中把气象科学的不确定性本质写进去，这会使下一代人对气象预报有一个正确的看法，而不至于对预报准确性有不切实际的期望。从短期看，科普应该是一个不错的补救方法。可惜的是，现在的气象科普基本上都是“知识型”的，以介绍大气现象为目的。这种“知识型”的科普只授人以知识而不能改变人的思想和看法，所以其社会价值非常有限。因此，我们也应该写一些“观念型”的气象科普文章以帮助大众了解和正确应用气象信息。

#### 4.5 美国预报员应用集合预报资料所遇到的障碍

最后，文章利用不久前纽约州立大学石溪分校所进行的一项调查介绍了美国预报员在日常业务中应用集合预报资料所遭遇到的一些障碍。这包括以下7个方面：资料不全面、分析工具缺乏、培训不够、系统性检验缺乏、工作负荷重、模式分辨率不够、预报规范格式限制。这7方面的实际问题作为气象学科带头人和业务管理决策者应该认真思考并提前合理安排和计划。

## 附录:

### 预报员应用预报不确定信息的调查表和总体统计

#### 一、预报员的工作经验

1.1 从事预报工作的年限?

(a) 1~3年[23.1%] (b) 4~6年[21.8%] (c) 7~10年[17.5%] (d) 10年以上[37.6%]

1.2 在哪一级气象部门工作?

(a) 地市级[44.1%] (b) 省级[46.3%] (c) 国家级[9.6%]

1.3 在日常天气预报制作过程中,你在多大程度上依赖数值预报产品?

(a) 主要参考形势预报[9.9%] (b) 主要使用要素预报[1.3%]

(c) a、b两者都用[88.8%] (d) 基本不用[0%]

1.4 有否参加过关于预报不确定性(如集合预报)的培训?

(a) 有[23.1%] (b) 没有[76.9%]

1.5 有否阅读过有关预报不确定性的文章?

(a) 有[63.3%] (b) 没有[36.7%]

#### 二、对现有天气预报的看法

2.1 你觉得现有天气预报的水平如何?

(a) 完全准确[0.4%] (b) 基本准确[63.8%] (c) 有时对,有时错[34.9%]

(d) 基本不准确[0.4%] (e) 完全不准确[0.4%]

2.2 当你发布预报时,对自己所作的预报有100%的把握吗?

(a) 有[4.8%] (b) 没有[95.2%]

2.3 你是否对自己所做预报的可信度心里有一个大致的估计呢?即认为有些预报对的可能性大,而对另一些预报却没有什么把握?

(a) 是[86%] (b) 不是[14%]

2.4 你觉得公众认为天气预报不太准确的原因是什么?

(a) 因为对人们生活有重大影响的高影响天气和转折性天气往往不易被报准,而人们往往对预报的错误印象更为深刻[24%]

(b) 气象部门的宣传和科学进步使得公众以为天气演变是可以被100%准确地预报出来的[6.6%]

(c) 以上两者都有[69.4%]

2.5 你自己认为天气预报不准的原因是什么?你相信天气预报总有一天会报得100%准确吗?

(a) 目前气象科学和技术还不够完善,但当它们完善后,总有一天天气是可以被100%准确地预报出来的[7%]

(b) 一方面是气象科学和技术还不够完善,另一方面是大气运动的复杂性。但由于大气系统的混沌性,天气演变永远都不可能100%准确地预报出来[93%]

2.6 在现有预报水平上,你认为怎样才能提高我们的预报服务质量?

(a) 细化预报产品,针对不同的用户制作专门的产品[36.7%]

(b) 增加预报发布频次,不断更新预报信息[7%]

(c) 上述两者都要[56.3%]

#### 三、对预报不确定性量化信息应用的看法

3.1 你是否希望国家气象中心的数值预报产品也能定量地提供预报可信度(或预报不确定性)的信息?

(a) 要[93.9%] (b) 不要[6.1%]

3.2 你希望得到什么样的预报可信度信息?

(a) 所有可能事件发生的概率分布[6.6%] (b) 某一特定事件发生的概率大小[15.7%]

(c) 最有可能出现的预报[13.5%] (d) 预报的可能性区间(从最小值到最大值)[7%]

(e) 以上所有[57.2%]

3.3如果有了量化的预报可信度信息,你会如何把它们应用在日常的天气预报制作和服务上?

(a) 在现有预报规范下(即最后发布的是单一值的确定预报),预报员可以通过斟酌预报用语、调整量级等来表达对预报的把握程度,但这种方式预报可信度信息得不到最大程度的应用。要使它能得到最大程度的应用,现有的预报规范需要修改(由确定性预报变为概率预报)[86.4%]

(b) 没有用处,反而造成混乱[13.6%]

3.4你觉得应不应该把这种隐藏在预报背后的预报可信度或不确定性作为天气预报的一部分如实地告诉公众和用户,为什么?

(a) 应该。将预报不确定信息告诉用户,这才是客观、科学的态度,让用户根据预报不确定性去安排他们的行为,将有助于最大限度地发挥预报的价值。并同时要帮助用户正确理解天气预报不确定性的内容[74.7%]

(b) 不应该。因为人们会觉得气象部门预报不准,还把预报的责任推卸到用户身上[5.7%]

(c) 不应该。因为用户不会用带有不确定性的预报,只会造成混乱[19.7%]

3.5如果要求对公众和用户发布预报的可信度,你觉得什么样的形式比较合适?

(a) 预报事件的概率大小[24.9%] (b) 不同的用语(如可能性很小、中等、很大)[15.7%] (c) 用不同颜色来表达预报可信度(如红色代表可信度很低,黄色代表中等,绿色代表可信度高)[14.8%] (d) 根据不同情景,所有以上这些都[44.5%]

3.6让公众能够接受天气预报有不确定性的事实(如同治疗疾病有风险一样),并科学地运用量化的不确定性信息来决策(使社会或经济效益最优化),你认为关键因素是什么?

(a) 大众科普宣传[32.3%] (b) 学校教育(教科书)[3.9%] (c) 培训[4.8%]

(d) 气象界同用户合作[5.2%] (e) 所有以上这些[53.7%]

## 参考文献

- [1] U.S. National Research Council. Completing the forecast: Characterizing and communicating uncertainty for better decision using weather and climate forecasts. Washington D.C.: The National Academy Press, 2006. (中译本:王东海,等译.完善预报:表征并交流不确定性以利用天气气候预报作出更佳决策.北京:气象出版社,2009.)
- [2] Lorenz E N, 著.刘式达,刘式适,严中伟,译.混沌的本质.北京:气象出版社,1997.
- [3] Epstein E S. Stochastic-dynamic prediction. Tellus, 1969, 21: 739-759.
- [4] Leith C E. Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. Mon Wea Rev, 1974, 102: 409-418.
- [5] 杜钧.集合预报的现状和前景.应用气象学报, 2002, 13(1): 16-28.
- [6] Duan Y H, Gong J D, Du J, et al. An overview of the Beijing 2008 Olympics Research and Development Project B08RDP. Bull American Meteor Soc, 2012, 93(3): 381-403.
- [7] Kang Z M. Verification of B08RDP products during "2008 Beijing Olympic Games". A talk in the 4th B08FDP/RDF Workshop, Guangzhou, China, April 21-23, 2009.
- [8] 丑纪范.大气科学中的非线性与复杂性.北京:气象出版社, 2002.
- [9] 薛纪善.和预报员谈数值预报.气象, 2007, 33(8): 3-11.
- [10] 杜钧,陈静.天气预报的公众评价与发布形式的变革.气象, 2010, 36(1): 1-6.
- [11] 杜钧,陈静.单一值预报向概率预报转变的基础:谈谈集合预报及其带来的变革.气象, 2010, 36(11): 1-11.
- [12] 杜钧,邓国.单一值预报向概率预报转变的价值:谈谈概率预报的检验和应用.气象, 2010, 36(12): 10-18.
- [13] 王东海,杜钧,柳崇健.正确认识和对待天气预报的不确定性.气象, 2011, 37(4): 385-392.
- [14] 段欲晓,王迎春,叶谦,等.影响预报员应用先进天气预报技术的因素分析.气象, 2010, 36(6): 122-127.
- [15] 杨学胜.业务集合预报系统的现状及展望.气象, 2001, 27(6): 3-9.
- [16] 李泽椿,陈德辉.国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用.应用气象学报, 2002, 13(1): 1-15.
- [17] 邓国,龚建东,邓莲堂,等.国家级区域集合预报系统研发和性能检验.应用气象学报, 2010, 21(5): 513-523.
- [18] Tracton M S, Kalnay E. Operational Ensemble Prediction at the National Meteorological Center: practical aspects. Wea Forecasting, 1993, 8: 378-398.
- [19] Du J, Tracton M S. Implementation of a real-time short-range ensemble forecasting system at NCEP: an update. Preprints, 9th Conference on Mesoscale Processes, Ft. Lauderdale, Florida, 2001. [Available online: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/SREF/reference.html>].